



HAL
open science

Calcul théorique de l'effet de Joule-Thomson et comparaison avec la mesure expérimentale

Kamel Fnena, Ahmed Bellagi

► **To cite this version:**

Kamel Fnena, Ahmed Bellagi. Calcul théorique de l'effet de Joule-Thomson et comparaison avec la mesure expérimentale. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00164649

HAL Id: hal-00164649

<https://hal.science/hal-00164649>

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CALCUL THEORIQUE DE L'EFFET DE JOULE -THOMSON ET COMPARAISON AVEC LA MESURE EXPERIMENTALE

FNENA K.* & BELLAGI A.**

Département de génie énergétique,

U. R. Thermique et Thermodynamique des Procédés Industriels,

E. N. I. M., Av. Ibn Jazzar, 5060 Monastir-Tunisie

Chimiphy@yahoo.fr*, *a.bellagi@enim.rnu.tn*

Résumé : Dans ce travail nous avons mesuré l'effet de Joule-Thomson (JT) en utilisant deux installations frigorifiques à compression de vapeur opérant l'une avec le réfrigérant R12 et l'autre avec le réfrigérant R22. Ces mesures sont ensuite utilisées pour valider notre équation d'état issue des plusieurs modifications apportées à une autre équation d'état d'origine dans le souci d'améliorer considérablement la prédiction de l'effet de JT et de l'équilibre liquide-vapeur (ELV) d'un groupe des fluides. On note que les valeurs calculées de la température en aval du détendeur à l'aide de notre équation d'état sont très proches de celles mesurées. On ajoute que l'erreur absolue relative entre les mesures et les données calculées par l'équation d'état développée est de l'ordre de 1 % et que la pression expérimentale de saturation (ELV) est très bien décrite par l'équation d'état proposée. La déviation absolue moyenne n'est dépasse plus le 0,6 %.

Mots clés :

Effet de Joule-Thomson, installation expérimentale, inversion de l'effet, équation d'état.

1. INTRODUCTION

L'effet de Joule -Thomson est associé le plus souvent aux applications frigorifiques où il est à la base de la baisse de température que subit le fluide frigorigène dans une détente adiabatique. Cet effet est mis à profit en particulier pour abaisser la température au-dessous de la température ambiante dans les installations frigorifiques (réfrigération et climatisation) et pour la liquéfaction des gaz (cycle de Linde).

Sur le plan théorique, l'effet de JT est la manifestation directe du comportement non idéal d'un fluide et peut donc être exploité pour déterminer les paramètres d'interactions moléculaires responsables de ces comportements et à partir de là développer des équations d'état plus performantes. De cet effet la prédiction de la courbe d'inversion est un test très sévère pour la qualité d'une équation d'état.

L'effet de JT est caractérisé par le coefficient de JT, μ_{JT} , défini comme étant la variation de la température du fluide par unité de chute de pression lors d'une détente isenthalpique :

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_H \quad (1)$$

La détermination expérimentale de ce coefficient est très délicate. Des mesures très précises de la température en amont et en aval de la vanne de détente sont nécessaires pour accéder à des valeurs de μ_{JT} , de précision satisfaisante. Egalement la mesure des ces températures est extrêmement difficile et en recours souvent aux équations d'état PVT pour déterminer μ_{JT} ou la courbe d'inversion. En fait la prédiction de l'effet de JT est un test très

sévère de la qualité d'une équation d'état. Le but principal de ce travail est de valider expérimentalement une équation d'état développée le long de notre étude à l'aide de la mesure de l'effet sur deux installations frigorifiques.

2. INSTALLATION ET MESURE

2.1. Installations

Les mesures sont effectuées sur deux installations : une installation, opérant au fréon R22, est un climatiseur de type chaud/froid utilisé pour chauffer ou refroidir un local. Cette installation comprend les organes suivants : un compresseur, un évaporateur, un condenseur et un détendeur (figure 1). Une vanne à quatre voies permet d'inverser la circulation de R22. L'autre installation comprend les mêmes organes mais opérant au fréon R12.



Figure 1 : Installation expérimentale opérant au fréon R22.

2.2. Mesures

Nous avons mesurés les températures et les pressions de fluide frigorigène aux différents points de l'installation. Les fonctions thermodynamiques (H , S , G , ...) sont également déterminées en chaque point de l'installation. Les mesures des températures sont réalisées au quatre points (points 1 à 4 de la figure 2) :

- L'entrée et sortie de condenseur (T_1 et T_2).
- Les sorties du détendeur et de l'évaporateur (T_3 et T_4).

Les températures en amont et en aval du détendeur sont respectivement T_2 et T_3 . La variation de la température ($T_3 - T_2$) représente bien l'effet de JT.

Les mesures des températures sont effectuées à l'aide de thermocouple de type **K** posés sur les conduites de fluide frigorigène. Les mesures de la pression d'évaporation (BP) et de condensation (HP) du fluide frigorigène sont assurées par des manomètres à cadran intégrés dans l'installation. La liaison est assurée par des flexibles dont la pression de service maximale est de 20 bars. Ces baromètres nous permettent en particulier de connaître les pressions relatives de fluide frigorigène à l'entrée et à la sortie du détendeur. Avant de mettre l'unité expérimentale en marche on ouvre les différentes vannes de service et on fait circuler de l'azote sous pression pour évacuer les impuretés se trouvant dans l'installation. Lors de la mise en service de l'unité expérimentale on fixe un coupleur d'azote à une pression de 16 bars. A ce moment les vannes sont ouvertes.

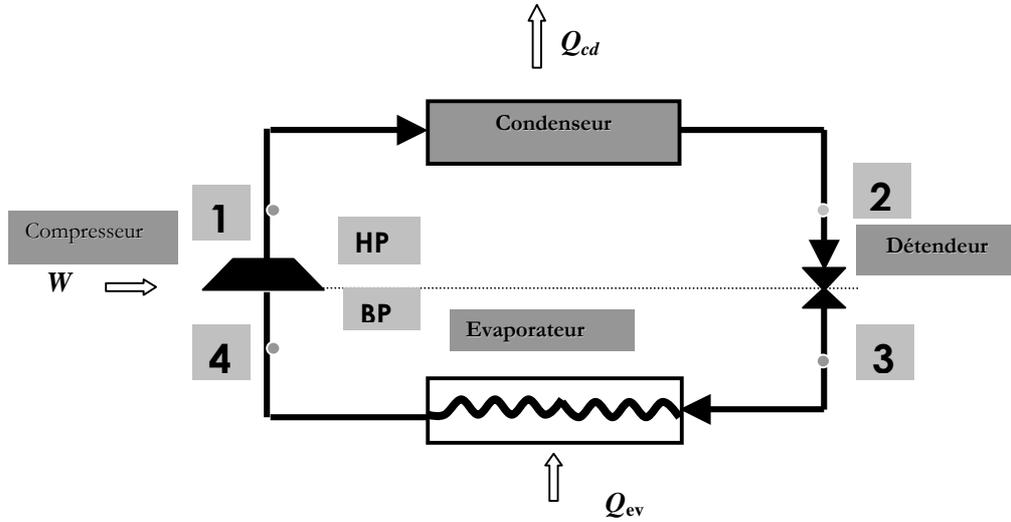


Figure 2 : Cycle frigorifique de l'installation.

3. CALCUL DE L'EFFET

La variation de la température en amont, T_2 , et en aval, T_3 , du détendeur, ΔT_h , est liée à la variation de l'enthalpie, Δh_T , par l'intermédiaire de la relation [1, 2] :

$$\Delta T_h = \frac{\Delta h_T}{c_p^0} \quad (2)$$

c_p^0 étant la capacité thermique à pression constante du fluide à l'état de gaz parfait.

$$\Delta h_T = h(P=0, T) - h(P, T). \quad (3)$$

En introduisant l'enthalpie résiduelle, h^{Res} , - qui représente l'écart entre l'enthalpie de gaz réel et celui de gaz idéal à la même température et pression - on peut écrire :

$$\Delta h_T = -h^{IG}(T, P) - h^{Res}(T, P) + h^{Res}(T, 0) + h^{IG}(T, 0). \quad (4)$$

Comme

$$h^{IG}(T, P) \approx h^{IG}(T, 0) \text{ et } h^{Res}(T, 0) = 0 \quad (5)$$

il vient

$$\Delta h_T = -h^{Res}(T, P). \quad (6)$$

Ainsi la température du fluide à la sortie du détendeur, T_3 , est :

$$T_3 = T_2 + \frac{h^{Res}(T, P)}{c_p^0} \quad (7)$$

Les données expérimentales de la capacité thermique à pression nulle de R22 sont prise de la référence [4] et sont représentées fidèlement par l'équation :

$$c_p^o = - 2 \cdot 10^{-9} T^3 + 10^{-6} T^2 + 7 \cdot 10^{-4} T + 0,3609 \quad (8)$$

La température en aval, T_3 , est donc déterminée à l'aide de l'enthalpie résiduelle qui lui aussi peut être calculée à l'aide d'une équation d'état volumétrique. Ainsi pour calculer cette température qui représente en fait l'effet de JT (car T_2 est imposée à l'entrée du détendeur) nous avons utilisé, d'une part, notre équation d'état développée au cours d'un récent travail et l'équation de Reiner-Tillner-Roth (RTR) de l'autre.

4. RESULTATS

Nous montrons sur les tableaux 1 et 2 les mesures expérimentales ainsi que les valeurs calculées de T_3 dans le cas de l'installation opérant au fréon R22.

Equation d'état	T_3^{exp} (K)	T_3^{cal} (K)	Err (%)
PVT*	279,55	280,4	0,304
RTR		281,5	0,697

Tableau 1 : Résultats pour l'installation opérant au fréon R22. (Ventilation maxi.)

Equation d'état	T_3^{exp} (K)	T_3^{cal} (K)	Err (%)
PVT*	277,37	279,5	0,767
RTR		281,1	1,344

Tableau 2 : Résultats pour l'installation opérant au fréon R22. (Ventilation mini.)

Le tableau 3 montre les résultats dans le cas de l'installation opérant au fréon R12. Le débit du fluide frigorigène est de 0,014 kg/s.

Equation d'état	T_3^{exp} (K)	T_3^{cal} (K)	Err (%)
PVT*	264,15	266,25	0,795
RTR		261,20	- 1,117

Tableau 3 : Résultats pour l'installation opérant au fréon R12.

* l'équation volumétrique d'état proposée.

La figure 3 montre le cycle frigorifique de l'installation tracé dans le diagramme (T, S).

Nous remarquons d'après ces tableaux que les erreurs observées sur la température du fluide frigorigène à la sortie du détendeur sont très faibles. On note aussi que notre équation d'état (PVT) est plus précise que l'équation récente de RTR. Des causes de ces erreurs peuvent être aussi le manque de précision suffisante aux niveaux des baromètres et l'effet des

thermocouples, la variation de débit du fluide et de charge dans les conduites de l'installation, l'échange thermique avec le milieu extérieur, etc.

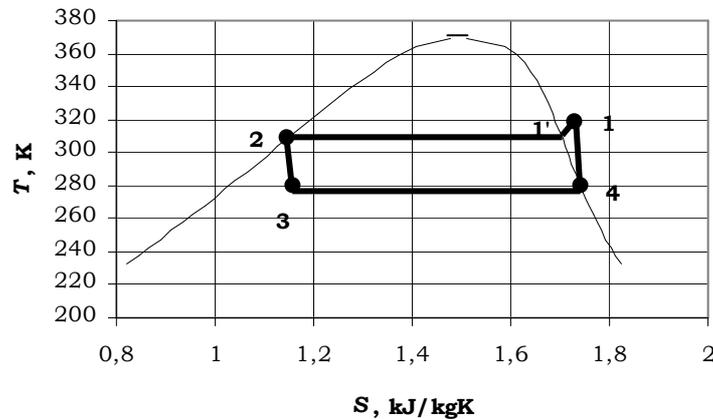


Figure 3 : Cycle dans le diagramme (T, S) – ventilation maximale.

5. CONCLUSIONS

Dans ce travail on a mesuré l'effet de JT en utilisant deux pilotes frigorifiques opérant l'une au fréon-22 et l'autre au fréon-12 selon un cycle de compression de vapeur. La température après détente est calculée, d'une part, à l'aide de notre équation d'état PVT et à l'aide de l'équation d'état récente de R. TILLNER- ROTH [3] de l'autre. On note que les valeurs calculées avec l'équation proposée concordent bien avec les mesures expérimentales. On peut conclure ainsi que l'équation d'état développée est précise pour la prédiction expérimentale de l'effet de JOULE-THOMSON. Le faible écart observé entre les valeurs mesurées et calculées est dû, d'une part, au fait que, à cause de la fluctuation de l'énergie cinétique de part et d'autre de détenteur, le processus de détente n'est pas en réalité tout à fait isenthalpique et aux erreurs expérimentales de l'autre.

Nomenclature

Q_{ev}	puissance frigorifique, kW	Q_{cd}	puissance thermique évacuée au
W	puissance mécanique du compresseur, kW		niveau du condenseur, kW
T	température absolue, K		

Références

- [1] B. Z. Maytal et A. Shavit, *Cryogenics*, Volume 34, No. 1, pp 19 – 23, 1994.
- [2] B. Z. Maytal et A. Shavit, *Cryogenics*, Volume 37, No. 1, pp 33 – 38, 1997.
- [3] R. T. Roth, Fundamental equations of state, *Shaker Verlag*, Aachen (Allemagne), 1998.